

**PROTOTIPE PENGENDALI LAMPU *PAPI* PADA *RUNWAY*  
BERBASIS *PLC* DAN *HMI* UNTUK BANDAR UDARA**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**GALUH KESUMA NINGRUM**

**D 400 170 145**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2021**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PROTOTIPE PENGENDALI LAMPU *PAPI* PADA *RUNWAY*  
BERBASIS *PLC* DAN *HMI* UNTUK BANDAR UDARA**

**PUBLIKASI ILMIAH**

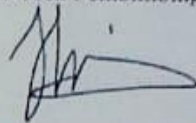
oleh:

**GALUH KESUMA NINGRUM**

**D.400 170 145**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Hasyim Asyari, S.T., M.T.**  
**NIP.981**

HALAMAN PENGESAHAN

PROTOTIPE PENGENDALI LAMPU *PAPI* PADA *RUNWAY*  
BERBASIS *PLC* DAN *HMI* UNTUK BANDAR UDARA

OLEH

GALUH KESUMA NINGRUM

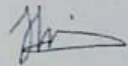
D.400 170 145

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Senin, 12 Juli 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

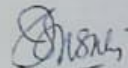
1.Dosen Pembimbing

(Hasyim Asyari, S.T., M.T. )

(  )

2.Dosen Penguji

(Agus Ulinuha, PhD)

(  )

3.Dosen Penguji

(Dr. Ratnasari Nur Rohmah)

(  )

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK/NIDN 0603027401

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 7 Juli 2021

Penulis



**GALUH KESUMA NINGRUM**

**D.400 170 145**

# PROTOTIPE PENGENDALI LAMPU *PAPI* PADA *RUNWAY* BERBASIS *PLC* DAN *HMI* UNTUK BANDAR UDARA

## Abstrak

Setiap Bandar Udara selalu mempunyai *Airfield Lighting System* (AFL) sebagai alat bantu visual pendaratan, lepas landas, dan *taxi* pesawat udara agar penerbangan berjalan dengan aman. Salah satu AFL adalah *Precision Approach Path Indicator* (*PAPI*) yang berfungsi sebagai pemandu pilot untuk memberikan isyarat sudut pendaratan yang tepat pada *touch down* di *runway*. *PAPI* terdiri dari 4 *box* yaitu *box* A, B, C, dan D di mana setiap *box* memiliki 2 buah lampu *PAPI* sehingga jika dijumlahkan terdapat 8 buah lampu *PAPI*. Khusus pada Bandar Udara Internasional Adi Soemarmo Surakarta, lokasi antara *PAPI* dengan *Constant Current Regulator* sangat jauh dan tidak terdapat monitoring dan kontrol *PAPI* secara langsung. Dalam kondisi *PAPI* mengalami kerusakan, teknisi mendapat informasi dari *tower* terlebih dahulu dan terjadi keterlambatan dalam penanganan, hal ini dapat mempengaruhi keamanan dan keselamatan penerbangan. Atas permasalahan yang ditemukan, penulis memberikan solusi yaitu membuat sistem monitoring dan pengendali *PAPI* menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) CP1E N30SDR-A dan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai display monitornya. Metode yang digunakan adalah dengan sensor tegangan *Voltage Divider* yang dihubungkan pada *PAPI* dan sensor ultrasonik SRF05 untuk mendeteksi ketinggian pesawat lalu diteruskan ke *Arduino*, setelah itu PLC akan menerima data dari *arduino* yang diteruskan ke HMI sebagai tampilan monitor. Alat ini dapat bekerja dengan baik dari segi sensor ultrasonik, pembacaan tegangan dan monitor pada HMI. Hasil pengujian sensor tegangan pada alat ini adalah mempunyai *error* pada *box* A 3,92%, *box* B 1,28%, *box* C 4,7%, *box* D 2,09%.

**Kata Kunci** :AFL, Arduino, CCR, HMI, Monitoring, *PAPI*, Pengendali, PLC, Runway, Sensor Tegangan

## Abstract

Every airport always has an *Airfield Lighting System* (AFL) as a visual aid for landing, taking off, and taxiing aircraft so that flights run safely. One of the AFL is the *Precision Approach Path Indicator* (*PAPI*) which functions as a pilot guide to provide the right landing angle signal on touch downs on the runway. *PAPI* consists of 4 boxes, namely boxes A, B, C, and D where each box has 2 *PAPI* lamps so that if you add up there are 8 *PAPI* lamps. Especially at Adi Soemarmo International Airport, Surakarta, the location between *PAPI* and *Constant Current Regulator* is very far away and there is no direct monitoring and control of *PAPI*. In the event that the *PAPI* is damaged, the technician receives information from the tower in advance and there is a delay in handling, this can affect flight security and safety. For the problems found, the author provides a solution, namely making a *PAPI* monitoring and controlling system using the CP1E N30SDR-A *Programmable Logic Controller* (PLC) and *Human Machine Interface* (HMI) as the monitor display. The method used is the *Voltage Divider* voltage sensor which is connected to the *PAPI* and the ultrasonic sensor SRF05 to detect the altitude of the aircraft and then forward it to the *Arduino*, after that the PLC will receive data from the *Arduino* which is forwarded to the HMI as a monitor display. This tool can work well in terms of ultrasonic sensors, voltage readings and monitors on the HMI. The results of testing the voltage sensor on this tool are that it has an error in box A 3.92%, box B 1.28%, box C 4.7%, box D 2.09%.

**Keywords**: AFL, Arduino, CCR, HMI, Monitoring, *PAPI*, Controller, PLC, Runway, Voltage Sensor

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi transportasi yang semakin pesat khususnya transportasi udara berbanding lurus dengan kebutuhan masyarakat yang dirasa sangat efektif, efisien dan mudah bertransportasi dengan waktu yang singkat, serta pelayanan setiap maskapai yang memuaskan, dibandingkan dengan transportasi lainnya.

Transportasi pesawat terbang harus memiliki prosedur keamanan mulai dari *landing* hingga *take off* pesawat, dalam penerapannya pesawat dipandu oleh *Airfield Lighting System (AFL)* untuk melakukan *take off*, *landing*, hingga *taxi* pesawat agar tercapainya prosedur keamanan. *AFL* terdiri dari beberapa lampu khusus yang memiliki fungsi masing-masing (Andung Luwohono, 2016). Salah satu *AFL* adalah *Precision Approach Path Indicator (PAPI)* merupakan alat bantu visual yang berfungsi untuk membantu penerbang yang akan melakukan pendaratan agar pesawat dapat mendarat tepat pada *touchdown zone* (sebagai indikator pesawat pada posisi *on slope*) (SKEP/113/VI, 2002), hal ini sangat penting agar pesawat dapat mendarat dengan aman, terutama pada kondisi cuaca buruk dan keadaan gelap seperti malam hari.

Sistem kerja *PAPI* menggunakan *Constant Current Regulator (CCR)* untuk mengatur intensitas cahaya dan sebagai suplai listrik untuk lampu *PAPI*, tingkat intensitas cahaya dibagi menjadi 5 *step* yaitu : *step 1* = 2,8 A, *step 2* = 3,4 A, *step 3* = 4,1 A, *step 4* = 5,2 A, *step 5* = 6,6 A (Albert Panjaitan, 2020). Pembagian ini bertujuan untuk beberapa kondisi/cuaca. Posisi lampu *PAPI* pada *runway* Bandar Udara Internasional Adi Soemarmo memiliki jarak antara *PAPI runway 08* dengan gedung teknisi listrik adalah 835,84 meter dan *PAPI runway 26* dengan gedung teknisi listrik adalah 1,43 km dan tidak adanya monitor serta kontrol jarak jauh sehingga hal ini membuat keterlambatan dalam penanganan saat terjadi kerusakan atau pemadaman pada salah satu lampu *PAPI* dan akan membahayakan operasi penerbangan khususnya untuk pesawat yang akan melakukan *landing*.

Berdasarkan penelitian tentang monitor dan kontrol *CCR* menggunakan Arduino berbasis web. *CCR* merupakan catu daya yang memenuhi kebutuhan *AFL* seperti: *runway light*, *PAPI light*, *approach light*, dan *taxiway light*. Pengoperasian kontrol *CCR* dibagi menjadi 2 yaitu: kontrol *local* yang dilakukan pada perangkat langsung, dan kontrol *remote* yang dilakukan dari *Air Traffic Controller (ATC)* yang berada di *tower*. Alat ini menggunakan sensor arus *ACS712* dan sensor tegangan *ZMPT101B* untuk mendeteksi arus dan tegangan pada *CCR*. Relay sebagai *interface* perangkat, dan *arduino* sebagai *processor* alat, dan modul *ethernet shield* sebagai konektivitas keinternet agar dapat di monitor dan kontrol melalui web (Febrianto, 2020).

Berdasarkan penelitian tentang analisa *monitoring CCR* pada lampu *PAPI*, *PAPI* terdiri dari 4 box yang berada di sisi kiri sayap pesawat saat *landing* dan apabila penerbang melihat warna putih pada setiap lampu *PAPI* maka pesawat masih tinggi (*too high*) untuk melakukan *landing*, apabila *PAPI* terlihat merah maka pesawat terlalu rendah (*too low*) untuk melakukan *landing*, pesawat dikatakan *on slope* atau siap untuk *landing* adalah ketika *PAPI* terlihat 2 berwarna putih dan 2 berwarna merah, pada 1 box *PAPI* terdiri dari 2 buah lampu *PAPI*, sehingga jika dijumlahkan terdapat 8 buah lampu *PAPI* untuk 4 box, setiap lampu memiliki daya 200 watt sehingga dalam 4 box *PAPI* memiliki 1600 watt jika digunakan dalam keadaan maksimal dengan tegangan 220 volt, sehingga membutuhkan arus sebesar 7,27 A saat *PAPI* dipasang paralel. Jarak antara lampu *PAPI* dengan gedung listrik sangat jauh sehingga akan mengakibatkan daya *losses* yang tinggi, maka dari itu digunakan trafo *series* sebelum memasuki lampu *PAPI* agar tidak terjadi *losses* arus yang tinggi sehingga intensitas tetap konstan (Albert Panjaitan, 2020).

Berdasarkan penelitian tentang rancang bangun monitor *CCR* pada lampu *PAPI*, alat ini menggunakan *arduino* sebagai *processor* dan *android* sebagai tampilan monitornya. Hasil dari alat ini bekerja baik dengan tingkat *error* 1,2% dikarenakan gangguan pada *modem* saat mengirim data ke sistem *android*. Kelebihan alat ini adalah, teknisi dapat memonitor *CCR* secara langsung pada aplikasi di *smartphone* dengan mudah dan praktis tanpa perlu mengukur arus secara langsung pada *CCR* atau lampu *PAPI*, namun kekurangan alat ini adalah tidak adanya *indicator* atau notifikasi ketika terjadi kerusakan pada lampu *PAPI* sehingga teknisi harus selalu membuka aplikasi untuk mengetahui *CCR PAPI* secara berkala (Ningrum, 2016).

*Programmable logic controllers (PLC)* merupakan pengontrol logika yang dapat memprogram suatu sistem untuk mengoperasikan mesin dalam bidang industri secara otomatis. Bahasa yang digunakan adalah bahasa *ladder*. *PLC* terdiri dari *Central Processing Unit (CPU)*, memori dan modul I/O untuk menginput dan outputkan data. *PLC* sangat populer di kalangan manufaktur karena banyak kelebihan yang ditawarkan, salah satu kelebihan itu adalah fleksibel dan dapat diterapkan kembali untuk mengatur sistem lain dengan mudah dan cepat, dan kemampuan komputasi yang canggih (Mallikarjun G. Hudedmani, 2017).

*Runway* / landasan pacu adalah daerah persegi panjang pada Bandar udara untuk kegiatan operasi penerbangan seperti *take off*, *landing* pesawat dan merupakan salah satu dari *air side facility*. *Runway* pada setiap Bandar udara memiliki konfigurasi yang berbeda sesuai dengan kondisi pada Bandar udara tersebut. Konfigurasi *runway* pada setiap Bandar udara selalu ditentukan oleh beberapa faktor seperti angin kencang, kebisingan dan alat instrumen yang dipasang seperti *Instrument Lighting System (ILS)*, Setiap konfigurasi dikaitkan dengan *runway* kedatangan dan keberangkatan dan orientasinya (Md Shohel Ahmed f, 2018). Bandar Udara Adi Soemarmo menggunakan konfigurasi *single runway* / *runway* tunggal yang merupakan desain paling sederhana diantara konfigurasi

lainnyadengan panjang 2600 m x 45 m.

Lampu *runway* Bandar Udara di pasang secara seri untuk mendapatkan arus yang sama pada setiap lampunya, apabila dipasang secara paralel maka lampu *runway* yang berada di ujung terakhir akan terlihat redup karena terjadinya *drop* tegangan maka dari itu dibutuhkan *Constant current regulator (CCR)* yang merupakan peralatan elektronika yang dapat mengubah catu daya tegangan konstan menjadi catu daya arus konstan, prinsip kerja *CCR* adalah resonansi seri yaitu dimana *CCR* ini akan menjaga arus beban tanpa terpengaruh oleh perubahan beban (Hartono, 2020).

*Approach Lighting System (ALS)* adalah alat bantu pendaratan pesawat pada Bandar udara, yang akan membantu pilot untuk melakukan *landing* pesawat dengan tepat pada saat kondisi cuaca buruk dan gelap seperti malam hari. *ALS* terdiri dari *Sequence Flashing Light (SQFL)*, *Threshold Light*, dan *Precision Approach Path Indicator (PAPI)* (Radim Bloudíček, 2018).

*Instrument Landing System (ILS)* merupakan alat bantu navigasi udara, dalam versi terbaru *Federal Aviation Administration (FAA)* *ILS* memberikan informasi navigasi presisi horizontal dan vertikal yang diberikan kepada pilot selama pendekatan ke *runway* dalam melakukan *landing*. *Associated Marker Beacons /Low Power Distance Measuring Equipment (LPDME)* memberikan informasi tentang jarak antara pesawat dengan *runway*. Komponen yang terdapat dalam *ILS* adalah *Marker Beacon*, *Localizer* dan *Glide Path* (FAA, 2020)

Tujuan pada penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem pengendali lampu *PAPI*, dimana pada sistem ini lampu *PAPI* dapat dimonitor dan dikontrol jarak jauh dengan data yang *realtime*, sehingga kerusakan dapat dideteksi secara langsung oleh teknisi dengan notifikasi *alarm* dari *HMI*. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi ketinggian pesawat agar dalam posisi *on slope*, pada alat ini *HMI* digunakan melalui *Personal Computer (PC)* /laptop.

## 2. METODE

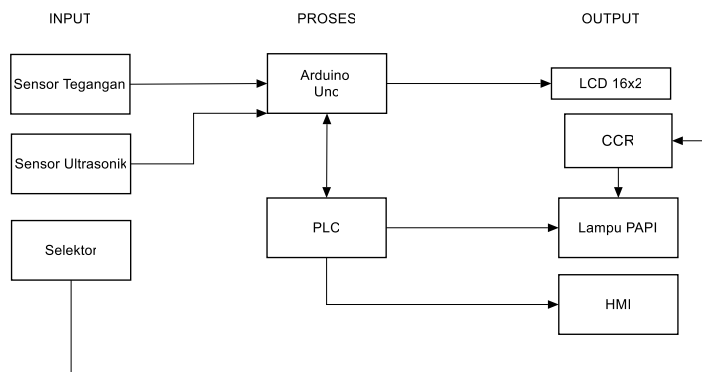
Metode yang digunakan adalah membuat 2 metode perangkat yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Rancangan perangkat keras (*hardware*) dengan membuat sistem kontrol alat dan pembuatan mekanik pada *box* lampu *PAPI* serta panel kelistrikannya, untuk rancangan perangkat lunak (*software*) dengan membuat *program PLC* menggunakan *Cx-Programmer*, *Arduino* dengan menggunakan *Arduino IDE* dan membuat desain *HMI* pada *Cx-Designer*. Pada alat ini *arduino* sebagai *processor* dan *PLC* sebagai *pheripheral* yang menjadi satu kesatuan sistem, sensor tegangan membaca nilai tegangan pada lampu *PAPI* dan sensor ultrasonik membaca jarak ketinggian miniatur pesawat berupa sinyal analog, kemudian *Arduino* mengolah data tersebut menjadi sinyal digital dan *PLC* sebagai komunikasi ke *HMI*, karena *arduino* tidak memiliki komunikasi langsung dengan *HMI*. Alat komunikasi antara *Arduino* dengan *PLC* menggunakan kabel RS 232, sedangkan untuk *box PAPI* agar terhubung dengan *PLC* menggunakan kabel DB9, *HMI* disini akan direalisasikan



menggunakan laptop sehingga dapat disimulasikan dengan program *PLC* secara langsung.

## 2.1 Blok Diagram Sistem Kerja Alat

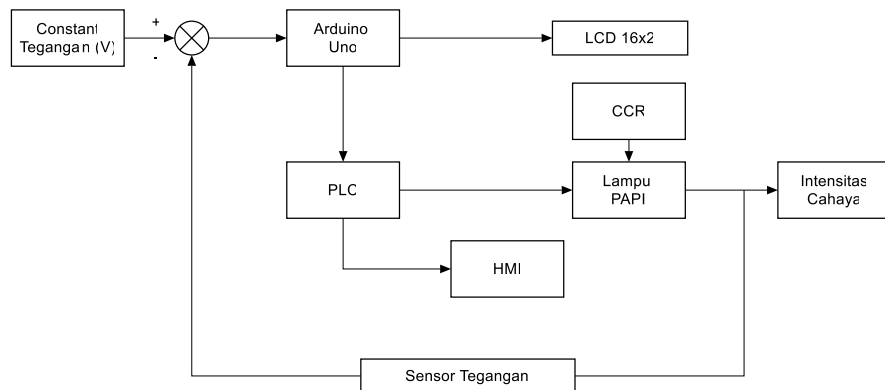
Sistem Kerja alat ini menggunakan sensor *voltage divider* yang di pasang pada jalur kabel *power* lampu *PAPI*, dimana sensor akan membaca tegangan yang lewat berupa sinyal analog, sinyal ini di olah ke dalam *Arduino* sebagai *microcontroller*, *Arduino* merubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang kemudian di kirim ke *PLC* sebagai sistem kendali kontrol alat serta hasil dari data yang di olah *Arduino* di tampilkan juga ke dalam *LCD 16x2* untuk pembacaan nilai tegangan yang terbaca oleh sensor *voltage divider*. Sensor ultrasonik berfungsi sebagai pendeteksi ketinggian pesawat, hasil pembacaan sensor ultrasonik di olah kedalam *Arduino* kemudian data tersebut di kirim kedalam *PLC*, dari data tersebut *PLC* memproses sinyal digital menjadi sebuah perintah untuk mengendalikan alat, ketika sensor *voltage divider* membaca tegangan 0 Volt maka sistem pada *PLC* akan memberi tanda peringatan bahwa lampu *PAPI* terdapat gangguan atau rusak melalui tampilan pada *HMI*, serta sensor ultrasonik akan membaca ketinggian pesawat untuk memberikan kombinasi warna *PAPI* dan *PLC* akan terhubung dengan *HMI* sebagai *monitoring interface*. Selektor berfungsi sebagai saklar untuk mengatur intensitas cahaya lampu *PAPI* pada *step 1-5* untuk menandakan pesawat dalam posisi rendah atau tinggi saat akan melakukan *landing*



**Gambar 1.** Blok Diagram Sistem Kerja Alat

## 2.2 Blok Diagram Kendali Sensor Tegangan *Voltage Divider*

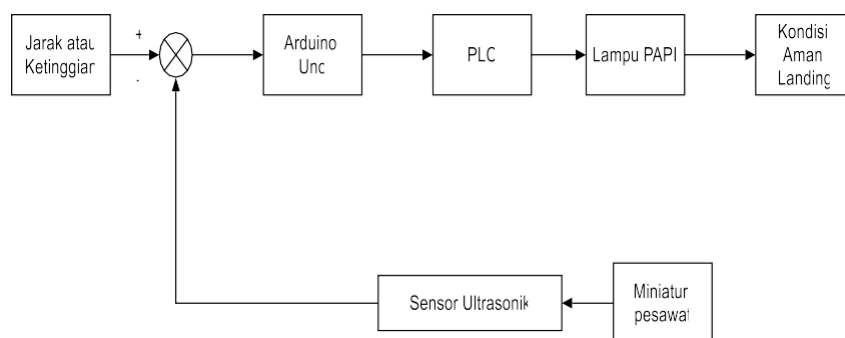
Setiap *box* lampu *PAPI* terpasang sensor tegangan *voltage divider* untuk membaca nilai tegangan yang dikeluarkan oleh lampu *PAPI* tersebut agar dapat dimonitor oleh *HMI*, jika terdapat tegangan 0 Volt maka terdapat salah satu lampu *PAPI* yang padam /*trouble* dan memerlukan penanganan oleh teknisi secepat mungkin, *HMI* memberikan *alarm* sebagai notifikasi / peringatan dini kepada para teknisi yang berada di gedung listrik sehingga akan mengurangi resiko keterlambatan penanganan pada lampu *PAPI*.



**Gambar 2.** Blok Diagram Kontrol Sensor Tegangan

## 2.3 Blok Diagram Kendali Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik *SRF05* digunakan untuk mendeteksi jarak antara miniatur pesawat dengan lampu *PAPI*, dimana hasil pembacaan sensor berupa sinyal analog kemudian di olah ke dalam *Arduino* dan menghasilkan sinyal digital, sinyal tersebut dikirim ke input *PLC* dan memberi kombinasi warna yang dapat dilihat pada penerbang di ruang kontrol pesawat (*cockpit*) saat melakukan *landing*.



**Gambar 3.** Blok Diagram Kontrol Sensor Ultrasonik

## 2.4 Nameplate CCR

Bandar Udara Adi Soemarmo memiliki beberapa CCR, yaitu CCR PAPI, CCR taxiway, CCR Approach dan CCR Runway. CCR PAPI terdapat 2 sirkit, dimana CCR sirkit 1 memberi supply listrik pada PAPI sebelah kiri runway 08 dan sebelah kanan runway 26. Sebaliknya, CCR sirkit 2 memberi supply listrik pada PAPI sebelah kanan runway 08 dan sebelah kiri runway 26.



**Gambar 4.** Nameplate CCR PAPI

(sumber : Bandar Udara Internasional Adi Soemarmo Surakarta)

**Tabel 1.** Nameplate CCR PAPI 7,5 KW

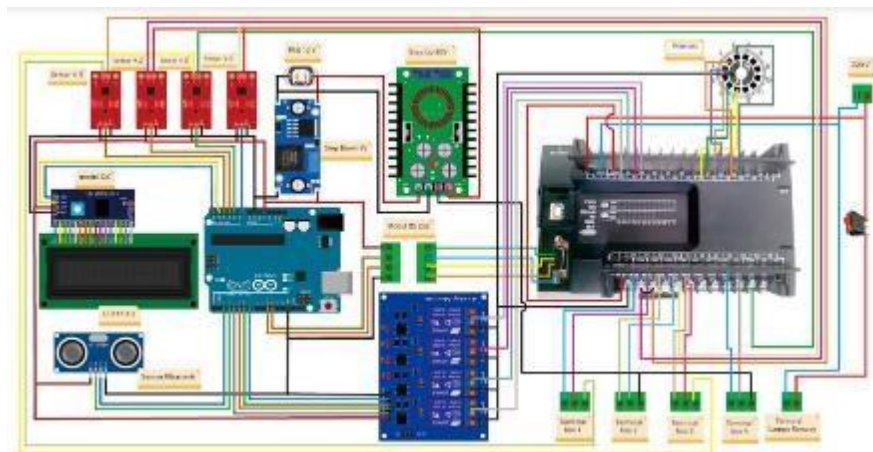
<i>Merk/Type</i>	ADB/TCR 5000
<i>Lokasi</i>	<i>Main Power House</i>
Tegangan Input	380 Volt
Arus Input	24 Ampere
Frekuensi	50 Hz
Tegangan Sistem Control	48 Volt
Kapasitas / Daya Output	7,5 Kw
Arus Output Maks	6,6 Ampere
<i>Steps / Regulator Arus</i>	
<i>Step 1</i>	2,8 A
<i>Step 2</i>	3,4 A
<i>Step 3</i>	4,1 A
<i>Step 4</i>	5,2 A
<i>Step 5</i>	6,6 A
Jumlah CCR	1 Unit
Pemasangan	1996

## 2.5 Rancangan Skematik Alat

Pada skematik alat ini dibagi dalam 3 sistem yaitu sistem kecerahan lampu / intensitas cahaya (*step*), sistem pendaratan pesawat dan sistem monitor lampu *PAPI*. Sistem kecerahan lampu ini melibatkan modul *step up* 30 Volt yang diibaratkan sebagai *CCR* untuk menaikkan tegangan agar dapat meningkatkan / menurunkan intensitas cahaya saat perubahan *step*, potensi untuk mengatur intensitas cahaya lampu yang terdapat pilihan *step* 1-5 untuk *step* 1 dihubungkan dengan input *PLC* 00 yang berarti normal / sistem *ready*, dan untuk *step* 2 dihubungkan dengan input 01 yang berarti cahaya akan lebih terang dari *step* 1. Komponen lainnya yaitu *PLC* sebagai *controller* dan *LED PAPI* sebagai output.

Sistem pendaratan pesawat melibatkan komponen sensor ultrasonik yang dihubungkan ke *arduino* dan dari output *arduino* masuk ke *relay* sehingga masuk ke input *PLC* 01 dan 03 untuk mengeluarkan kombinasi warna pada *LED PAPI*.

Sistem monitor lampu *PAPI* yang melibatkan komponen 4 sensor tegangan untuk mendeteksi tegangan pada tiap *box PAPI* dan *arduino* sebagai pengubah sinyal analog ke digital agar dapat di proses pada *PLC* selain mengirim ke *arduino*, sensor tegangan juga mengirimkan data pada *LCD* 16x2, setelah itu *PLC* menerima data untuk dapat diproses dan mengirim data ke *HMI* melalui modul *RS 232*.



**Gambar 5.** Rancangan skematik alat

## 2.6 Rancangan Desain *Box Lampu PAPI* dan *Box PAPI* pada *runway*

Rancangan *box* lampu *PAPI* dibuat seperti kondisi asli pada *runway*. *Box* lampu terbuat dari plat kayu dengan ukuran panjang 15 cm dan lebar 35 cm, kaki *box PAPI* terbuat dari besi, terdapat *led hpl super bright* 1 watt dengan warna merah dan putih di mana setiap *box* memiliki 6 *led* merah dan 6 *led* putih, dan terdapat akrilik untuk menutupi 2 lubang pada *box PAPI*.



**Gambar 6.**

Desain mekanik lampu *PAPI*

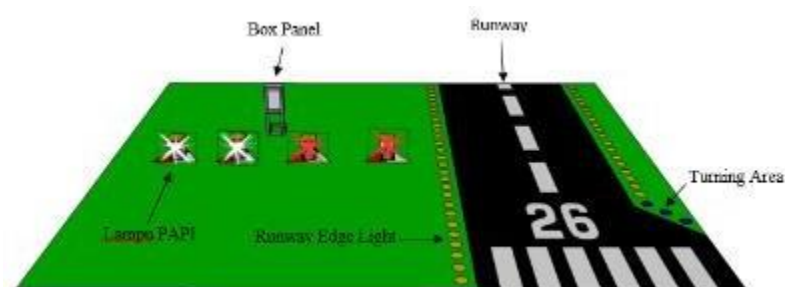


**Gambar 7.**

Foto *box* lampu *PAPI* pada *runway*

## 2.7 Rancangan Kontruksi dan Tata Letak Alat

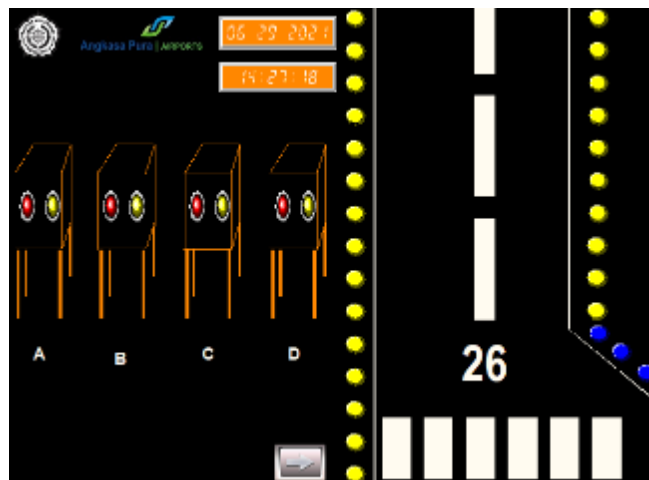
Penggambaran *runway* 26 menggunakan banner dengan ukuran 3x2 meter yang di disain *landscape*, penempatan antara *box PAPI* dengan *box panel* saling bertolak belakang hal ini untuk mempermudah jalur perkabelan *box PAPI*, dan jarak setiap *box PAPI* adalah 25 cm. *Runway edgelight* berfungsi untuk memandu pilot untuk *take off* maupun *landing*, sedangkan *turning area light* berfungsi sebagai daerah perputaran pesawat saat hendak melakukan *take off*.



**Gambar 8.** Perancangan konstruksi *runway* dan tata letak alat

## 2.8 Rancangan Desain HMI

Rancangan desain HMI dibuat dengan 2 *slide*, pada *slide* pertama terdapat tanggal dan jam sebagai indikator bahwa sistem HMI dalam keadaan berjalan, dan terdapat *box* lampu PAPI A-D, penggambaran *runway* 26 dengan *runway edge light* dan *turning area light* di sisi luar *runway*. Tombol dengan tanda panah ke kanan (*next*) untuk beralih ke *slide* 2 pada monitor HMI. *Slide* ke 2 terdapat indikator sistem *monitoring* yaitu sistem *ready* yang On ketika HMI berjalan, indikator sistem Off ketika sistem HMI dinonaktifkan dan *alarm* jika terjadi *trouble* pada *box* PAPI, untuk CCR PAPI terdapat indikator *step* 1-5 dan pembacaan nilai tegangan di setiap *box* lampu PAPI, tombol On untuk mengaktifkan sistem HMI sedangkan tombol Off untuk menonaktifkan sistem HMI, terdapat indikator dengan tulisan “BOX PAPI A/B ERROR” dan “BOX PAPI C/D ERROR” sebagai notifikasi jika terjadi *trouble* pada lampu PAPI yang akan menyala kedap-kedip. Tombol dengan panah kiri (*back*) berfungsi untuk beralih ke *slide* 1.



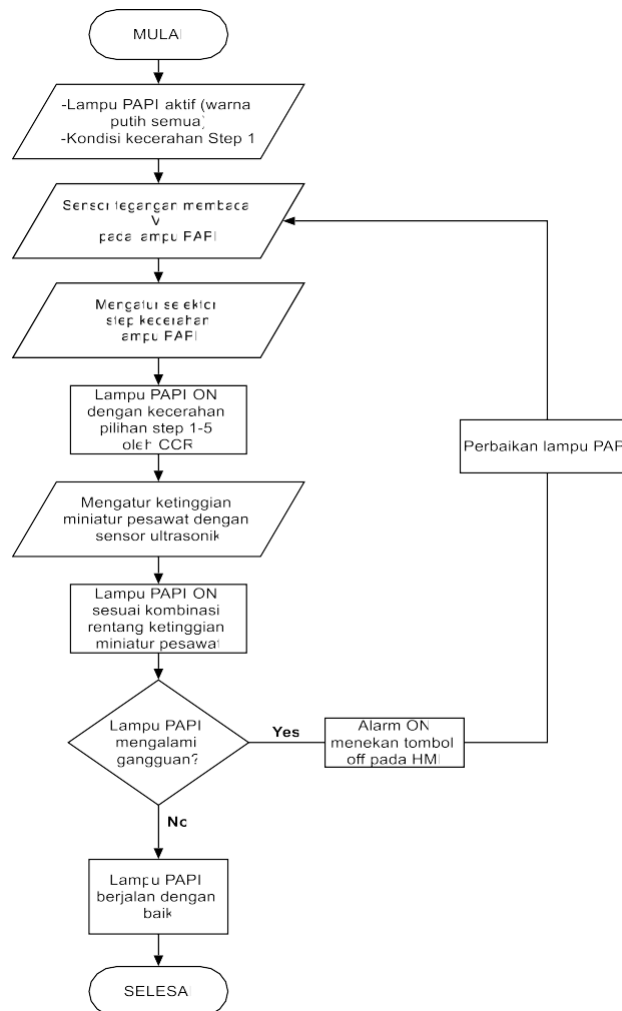
Gambar 9. Desain layar monitor pada HMI



Gambar 10. Desain indikator sistem  
Monitoring pada HMI

## 2.9 Diagram Alur Sistem Kerja Alat

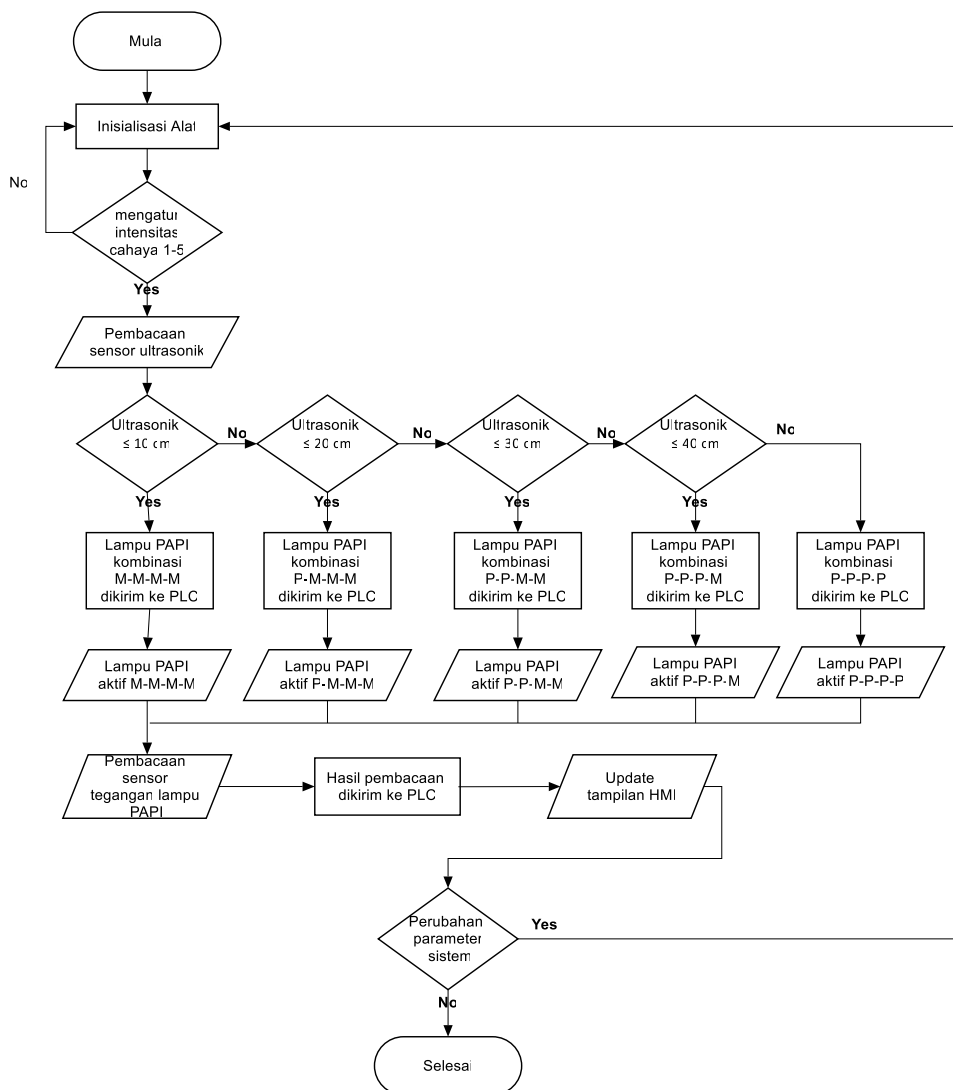
Cara kerja alat dimulai saat *PAPI* mulai aktif / *On* dalam keadaan *step* 1 dengan kombinasi warna putih-putih-putih-putih, lalu sensor tegangan akan membaca nilai tegangan pada lampu *PAPI*. Operator / teknisi mengatur selektor untuk perubahan *step* sesuai keinginan dan lampu *PAPI* akan *On* dengan *step* kecerahan antara 1-5, selain itu untuk mengatur ketinggian miniatur pesawat dengan lampu *PAPI* menggunakan sensor ultrasonik, maka lampu *PAPI* akan *On* dengan kombinasi warna yang telah ditentukan dengan perhitungan jarak. Apabila lampu *PAPI* mengalami gangguan saat terbaca salah satu *box PAPI* 0 V maka *alarm* pada *HMI* akan *On* dan menjadi notifikasi untuk teknisi, sebelum melakukan perbaikan teknisi akan meng-*Off*kan sistem pada *HMI*, dan apabila *PAPI* sudah diperbaiki maka tekan tombol *On* pada *HMI* untuk memulai kembali sistem. Lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 11:



**Gambar 11.** Flowchart sistem kerja alat keseluruhan

## 2.10 Diagram Alur Program Lampu PAPI

Program yang digunakan pada alat ini adalah *Cx-Programmer* dengan bahasa *Leader Diagram* sebagai kontrol pada *PLC* dan *software Arduino IDE* untuk memprogram *Arduino Uno*. Program akan bekerja saat alat aktif dengan intensitas cahaya / *step* yang sudah diatur pada selektor, dan sensor ultrasonik untuk menghasilkan kombinasi warna aman (*on slope*) landing pesawat yaitu putih-putih-merah-merah dengan jarak yang sudah ditentukan yaitu  $\leq 30$  cm. Hasil pembacaan sensor tegangan akan dikirim ke *PLC* kemudian di tampilkan pada *HMI* sebagai layar monitor. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 12 :



**Gambar 12.** Flowchart Program Lampu PAPI



### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Foto alat saat On



**Gambar 13.** Foto alat saat On

#### 3.2 Sensor Tegangan *Voltage Divider*

Sensor tegangan yang digunakan adalah sensor tegangan *Voltage Divider*. *Voltage Divider* merupakan sebuah rangkaian pembagi tegangan yang sederhana dengan cara kerja mengubah tegangan besar menjadi tegangan kecil. Fungsi *Voltage Divider* sebagai pembagi tegangan input menjadi beberapa tegangan output (ARDIANTO, 2018). Sensor tegangan ini mempunyai rentang tegangan input 0-25 V, pada pengujian sensor tegangan ini membandingkan antara pengukuran manual dengan avo meter dan tampilan tegangan pada *LCD* 16x2, pada alat ini sensor tegangan berfungsi untuk membaca tegangan pada lampu *PAPI*, data sensor diolah menggunakan *arduino* melalui pin analog, untuk sistem perkabelannya sensor ini terdapat pin Vcc, Gnd dan data di mana pin Vcc dan Gnd dihubungkan ke *arduino* sedangkan pin data di sambungkan ke terminal *PLC* yang terhubung pada titik lampu *PAPI* karena sensor ini membaca tegangan *PAPI* yang kontaknyaterdapat pada *output PLC*. Kinerja sensor ini membaca tegangan pada beban berupa sinyal analog yang diubah menjadi sinyal digital melalui *arduino* kemudian di tampilkan pada *LCD* 16x2, selain itu dikirim juga ke modul RS 232 lalu di proses pada *PLC* sehingga dapat menampilkan data pada *HMI*.



**Gambar 14.** Sensor Tegangan *Voltage Divider*

(sumber: <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/tutorial-mengukur-tegangan-dengan-modul.html>, 2016)



**Gambar 15.**

Pengukuran tegangan dengan alat ukur



**Gambar 16.**

Pengukuran tegangan pada *LCD*

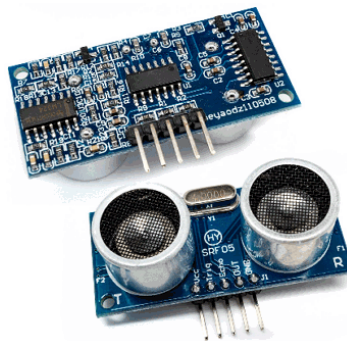
**Tabel 2. Pengujian Sensor Tegangan**

Step	Pembacaan Tegangan pada alat (V)				Pembacaan Tegangan pada alat ukur (V)				Selisih Tegangan (V)				Error per box (%)			
	Box A	Box B	Box C	Box D	Box A	Box B	Box C	Box D	Box A	Box B	Box C	Box D	Box A	Box B	Box C	Box D
1	14.90	14.70	14.70	15.20	15.26	14.81	15.25	14.79	0.36	0.11	0.55	0.41	2.42	0.75	3.74	2.70
2	15.30	15.20	15.30	15.70	15.83	15.35	16.17	16.10	0.53	0.15	0.87	0.40	3.46	0.99	5.69	2.55
3	16.00	15.60	16.10	16.20	16.73	15.99	17.08	16.78	0.73	0.39	0.98	0.58	4.56	2.50	6.09	3.58
4	16.50	16.30	16.60	16.90	17.30	16.51	17.35	17.03	0.80	0.21	0.75	0.13	4.85	1.29	4.52	0.77
5	17.00	17.00	17.20	17.60	17.73	17.15	17.80	17.75	0.73	0.15	0.60	0.15	4.29	0.88	3.49	0.85
Rata-rata selisih tegangan (V)									0.63	0.20	0.75	0.33				
Rata-rata Error per Box (%)													3.92	1.28	4.70	2.09

Hasil pada tabel 2 pengujian sensor tegangan mendapatkan nilai rata-rata selisih tegangan pada box A 0,63 V, box B 0,2 V, box C 0,75 V dan box D 0,33 V nilai ini diambil dari perhitungan selisih nilai tegangan antara pembacaan tegangan pada *LCD* dengan tegangan yang diukur pada alat ukur / avo meter. Nilai rata-rata *error* diambil dari selisih tegangan setiap box dibagi dengan tegangan yang terbaca pada *LCD* lalu dikalikan 100 dalam hitungan persen, dan didapatkan rata-rata *error* per box adalah box A 3,02 %, box B 1,28 %, box C 4,7% dan box D 2,09 %.

### 3.3 Sensor Ultrasonik SRF05

Sensor *ultrasonik* merupakan sensor yang dapat bekerja menggunakan prinsip pantulan gelombang suara untuk mendeteksi suatu objek yang berada di depannya dengan jarak tertentu dan dengan frekuensi kerja pada daerah di atas gelombang suara 40Khz hingga 400Khz. Rangkaian sensor *ultrasonik* terdiri dari *transmitter* (pemancar gelombang), *reiceiver* (penerima gelombang), dan *komparator* (perbandingan antara 2 tegangan atau arus) (Arifin, 2015). Sensor *ultrasonik* yang digunakan pada alat ini adalah sensor *ultrasonik SRF05* dengan tegangan kerja 5V, arus  $\leq 2\text{mA}$ , dan jarak deteksi 2 cm-450 cm.



**Gambar 17.** Sensor ultrasonik SRF05

(sumber: <http://www.datasheetcafe.com/hy-srf05-datasheet-sensor/>)

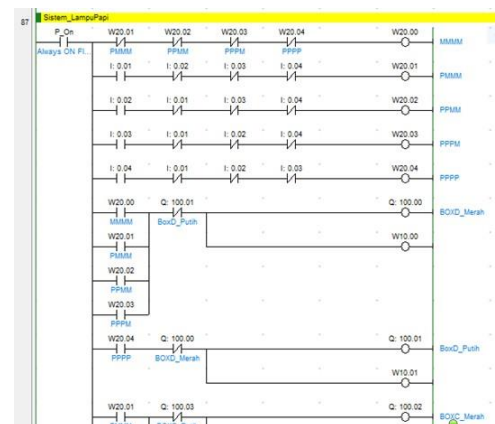


**Gambar 18.** Pengujian lampu PAPI saat kondisi *on slope*

**Gambar 19.** Pengukuran objek dengan jarak 3 cm



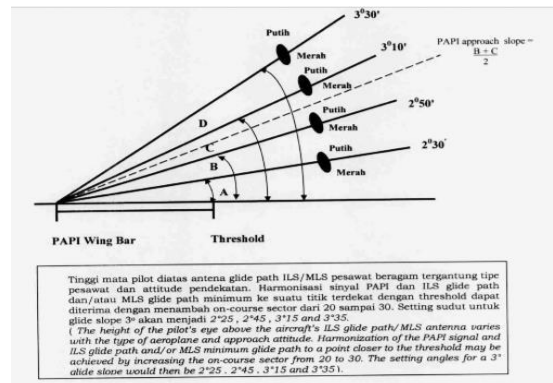
**Gambar 20.** Script Program *Arduino*



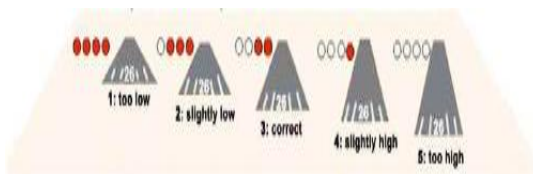
**Gambar 21.** Leader Diagram *PLC*



**Gambar 22.** Warna lampu *PAPI* yang dihasilkan dari pembacaan sensor ultrasonik



**Gambar 23.** Sudut dan pancaran cahaya penyetelan elevasi *PAPI*  
(sumber : Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara KP 2, 2013)



9.9.4.3. Wing bar PAPI harus dibangun dan diatur supaya penerbang yang akan melakukan approach :

- Jika berada pada atau dekat dengan kemiringan approach, melihat dua unit terdekat dengan runway berwarna merah dan dua unit terjauh dari runway berwarna putih.
- Jika diatas kemiringan approach, terlihat satu unit terdekat dengan runway berwarna merah dan tiga unit terjauh dari runway berwarna putih; dan jika jauh diatas kemiringan approach, terlihat ketiga unit berwarna putih; dan
- Jika di bawah kemiringan approach, terlihat tiga unit terdekat dengan runway berwarna merah dan satu unit terjauh dari runway berwarna putih; dan saat jauh dibawah kemiringan approach, terlihat ketiga unit berwarna merah.

**Gambar 24.** Ketentuan kombinasi warna *PAPI*  
(sumber : Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara KP 39, 2015)

Gambar 23 di dapati rumus perhitungan :

$$\begin{aligned}
 PAPI \text{ approach slope} &= \frac{B+C}{2} \\
 &= \frac{2^{\circ}50' + 3^{\circ}10'}{2} \\
 &= \frac{6^{\circ}}{2} \\
 &= 3^{\circ}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Berdasarkan Gambar 23 bahwa *PAPI* memberikan sinyal berupa pancaran cahaya kepada pilot dengan sudut yang tertera, di mana saat keadaan *on slope* / siap untuk *landing* yaitu pada sudut  $3^{\circ}$  sesuai dengan perhitungan *PAPI approach slope* sudut ini sebagai acuan karena di lapangannya sudut dapat berubah oleh faktor kondisi tanah, pada alat ini menggunakan jarak sebagai perumpamaan sudut yaitu jarak  $\leq 10$  cm mewakili sudut  $2^{\circ}30'$ , jarak  $\leq 20$  cm mewakili sudut  $2^{\circ}50'$ , jarak  $\leq 30$  cm mewakili sudut  $3^{\circ}$ , jarak  $\leq 40$  cm mewakili sudut  $3^{\circ}10'$  dan jarak  $> 40$  cm mewakili sudut  $3^{\circ}30'$ . Kombinasi warna yang dikeluarkan oleh lampu *PAPI* pada alat ini di ambil dari acuan peraturan direktur jenderal perhubungan udara nomor : KP 39, tentang standar teknis dan operasi peraturan keselamatan penerbangan sipil yang dapat di lihat pada gambar 24.

**Tabel 3.** Pengujian Sensor ultrasonik

Sensor ultrasonik		
Jarak (cm)	Kombinasi Warna	Keterangan
$\leq 10$	M-M-M-M	M-M-M-M
$\leq 20$	P-M-M-M	P-M-M-M
$\leq 30$	P-P-M-M	P-P-M-M
$\leq 40$	P-P-P-M	P-P-P-M
$> 40$	P-P-P-P	P-P-P-P

\*Ket : M = Merah

P= Putih

Hasil pada tabel 3 pengujian sensor ultrasonik dapat disimpulkan bahwa warna kombinasi lampu *PAPI* antara program *PLC* dengan pembacaan jarak oleh sensor *ultrasonik* berjalan dengan baik. Pengujian ini sebagai tanda visual warna yang di keluarkan oleh lampu *PAPI* dan hanya terlihat pada *cockpit* pesawat. Kombinasi warna M-M-M-M mendandakan bahwa pesawat dalam posisi terlalu rendah (*too low*) untuk melakukan *landing*, warna P-M-M-M yaitu posisi rendah (*low*) untuk melakukan *landing*, warna P-P-M-M menandakan bahwa pesawat (*on slope*) / tepat pada sudut luncur *landing*, warna P-P-P-M mendandakan pesawat dalam posisi tinggi (*high*) untuk melakukan *landing*, dan warna P-P-P-P (*too high*) yang berarti pesawat dalam posisi terlalu tinggi untuk melakukan *landing*.

### 3.4 Human Machine Interface (HMI)

*Human Machine Interface (HMI)* merupakan sebuah perangkat elektronik yang dapat mengontrol, monitor, mengelola serta memvisualisasikan proses pada sebuah perangkat, dengantampilan informasi yang didapat berupa grafis pada layar. File operator dapat digunakan tombol eksternal atau layar sentuh untuk mengontrol mesin (Normanyo, 2014).



**Gambar 25.** Simulasi gangguan pada *Box C* atau *Box D Error*

**Tabel 4.** Pengujian *Monitoring HMI*

Pengujian monitor HMI		
	Box A atau Box B	Box C atau Box D
Kondisi 1	OFF	ON
Alarm K1	ON	OFF
Kondisi 2	ON	OFF
Alarm K2	OFF	ON
Kondisi 3	ON	ON
Alarm K3	OFF	OFF
Kondisi 4	OFF	OFF
Alarm K4	ON	ON

\*Ket : Alarm K1 = Alarm saat kondisi 1 Alarm K3 = Alarm Kondisi 3 Alarm K2

= Alarm saat kondisi 2 Alarm K4 = Alarm Kondisi 4

Hasil dari tabel 4 pengujian monitor *HMI* adalah menggunakan 4 kondisi, dimana *box A* dan *box B* di rangkai secara seri begitu juga dengan *box C* dan *box D*. Apabila terdeteksi tegangan sebesar 0 V maka *alarm* pada *HMI* akan *on* sebagai notifikasi kepada teknisi bahwa ada *trouble* pada salah satu *box PAPI*.



#### 4. PENUTUP

Pada penelitian tugas akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. *PAPI* merupakan salah satu alat bantu visual pendaratan pesawat, yang akan memberikan sudut luncur *landing* yang tepat pada pesawat. *PAPI* berada di sisi kiri sayap pesawat dan akan memberikan sinyal berupa kombinasi warna kepada pilot
2. Setiap kenaikan *step* nilai tegangan selalu naik, hal ini dikarenakan adanya modul *stepup* sebagai penaik tegangan dan sensor tegangan *voltage divider* sebagai pembagi tegangan
3. Pada alat ini menghasilkan rata-rata selisih tegangan antara pengukuran avo meter dengan tegangan yang terbaca pada *LCD* adalah : *Box A* = 0,63 V, *Box B* = 0,2 V, *Box C* = 0,75 V, dan *Box D* = 0,33 V
4. *Error per box* lampu *PAPI* dihasilkan dari nilai selisih tegangan dibagi dengan nilai tegangan pada *LCD*, dan menghasilkan nilai *error* pada *box A* 3,92 %, *box B* 1,28 %, *box C* 4,7 % dan *box D* 2,09 %
5. Pengujian yang dilakukan pada sensor ultrasonik menghasilkan warna yang sesuai dengan program pada *PLC*, warna putih-putih-merah-merah menandakan bahwa pesawat sudah dalam keadaan *on slope* / siap untuk *landing* pada sudut luncur yang tepat
6. *HMI* sebagai *monitoring* antara teknisi dengan lampu *PAPI* secara langsung dengan waktu yang *realtime*, dan apabila *PAPI* mengalami *trouble* maka *alarm* dari *HMI* akan On sebagai notifikasi kepada teknisi agar kerusakan dapat ditangani secepat mungkin tanpa melalui perantara dengan *ATC* / *tower* terlebih dahulu

#### PERSANTUNAN

Segala puji dan syukur serta rahmat Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini dengan lancar, selain itu penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang sudah berkontribusi selama penelitian tugas akhir ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Bapak dan Ibu yang telah memberikan dukungan, materi serta doa yang sangat berperan penting dalam kehidupan penulis
2. Bapak Hasyim Asyari, S.T., M.T selaku dosen pembimbing penelitian tugas akhir ini yang telah memberikan dukungan dan bimbingannya kepada penulis
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS) yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan
4. Senior-senior SOC yang telah memberikan dukungan, motivasi dan kontribusinya dalam penelitian tugas akhir ini
5. Teman-teman dan para alumni Teknik Elektro UMS selaku kakak tingkat yang telah memberikan dukungan, motivasi serta kontribusi pada penelitian tugas akhir ini



6. Kakak dan saudara-saudara yang telah memberikan dukungan serta motivasinya kepada penulis

## DAFTAR PUSTAKA

- Albert Panjaitan, d. (2020). *Analisis Sistem Constant Current Regulator pada Lampu Precision Approach Path Indikator di Bandara Udara*. Medan: Politeknik Penerbangan Medan.
- Andung Luwuhono, d. (2016). *Rancangan Alat Simulasi Tata Letak Dan Konfigurasi Sirkuit Lampu Afl Berbasis Mikrokontroler Di Program Studi Teknik Listrik Bandara Sekolah Tinggi Penerbang Indonesia*. Tangerang: Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia.
- ARDIANTO, Y. (2018). *Rancang Bangun Automatic Transfer Switch – Main*.
- Arifin, I. (2015). *Automatic Water Level Control Berbasismikrocontrollerdengan Sensor Ultrasonik*. 8.
- FAA. (2020). *Ground-Based Navigation - Instrument Landing System (ILS)*. Federal Aviation Administration.
- Febrianto, W. (2020). *Rancang Bangun Kontrol & Monitoring Constant Current Regulator (Ccr) Dengan Arduino Berbasis Web*. Jakarta: Universitas mercu buana.
- Hartono, d. (2020). *Work Analysis of Constant Current Regulator BF 1200 With Current Loop and Gauss Jordan Method as Learning Media for Cadets*.
- <http://www.datasheetcafe.com/hy-srf05-datasheet-sensor/>. (2020, Februari 23). Retrieved from Datasheet cafe: <http://www.datasheetcafe.com/hy-srf05-datasheet-sensor/>
- <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/tutorial-mengukur-tegangan-dengan-modul.html>. (2016, 9 16). Retrieved from electricity of dream:
- <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/tutorial-mengukur-tegangan-dengan-modul.html>)
- Mallikarjun G. Hudedmani, d. (2017). *Programmable Logic Controller (PLC) in Automation*. *Advanced Journal of Graduate Research*.
- Md Shohel Ahmed f, d. (2018). *A Cooperative Co-Evolutionary Optimisation Model for Best-Fit Aircraft Sequence and Feasible Runway Configuration in a Multi-Runway Airport*. aerospace.
- Ningrum, Z. N. (2016). *Rancangan Kontrol dan Monitoring Constant Current Regulator (CCR) pada Precision Approach Path Indicator (PAPI) Menggunakan Android Berbasis Arduino di Bandar Udara Internasional Lombok*. Surabaya: Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Surabaya.
- Normanyo, E. (2014). *Developing a Human Machine Interface (HMI) for Industrial*. Ghana: University of Mines and Technology.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara KP 39. (2015). *Standar Teknis Dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil – Bagian 139 (Manual Of Standard Casr – Part 139) Volume I Bandar Udara (Aerodromes)*.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara NO KP 2. (2013). *Kriteria penempatan peralatan dan utilitas bandar udara*, 26.
- Radim Bloudíček, d. (2018). *The Use of Airport Lighting Systems in an Instrument Part of Approaching Manoeuvre*.
- SKEP/113/VI, K. D. (2002). *Penempatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan*.